

УДК 621.37:621.391

Рассомахін С.Г., Веклич С.Г.  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

### Лінійна алгебраїчна обробка складних сигнальних конструкцій

Побудова ефективних систем передачі інформації (СПІ) в даний час нерозривно пов'язане з проблемою підвищення використання часового і частотно-енергетичного ресурсу фізичних каналів зв'язку. Одним з найбільш поширених прикладів такого вирішення проблеми є застосування сигналів з фазо-частотною модуляцією, що використовують набори гармонійних коливань, кожне з яких промодульовано по фазі. Забезпечення ортогональності піднесучих частот привело до інтенсивного використання одного з найбільш перспективних видів сигналів - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Складність структури таких сигналів є причиною істотних труднощів при вирішенні завдань демодуляції і радіомоніторингу. Тому вдосконалення методів автоматичного цифрового аналізу багаточастотних багатofазних сигналів є досить актуальним завданням [1].

Застосування методу ШПФ для обчислення параметрів спектра сигналів є обчислювально витратним і складно реалізованим. Для спрощення обчислень коефіцієнтів спектра сигналів пропонується використовувати метод алгебраїчної демодуляції складних сигнальних конструкцій. Ідея даного методу полягає в статистичному виявленні кількості фіксованих значень фаз гармонічних коливань на піднесучих частотах, що спостерігаються [2].

Для цього складається система лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) виду:

$$A \cdot X = B, \quad (1)$$

де  $A$  – матриця амплітуд квадратурних компонент на інтервалі модуляції;  $B$  – вектор значень сигналу в цифровому вигляді в кожному відліку інтервалу модуляції;  $X$  – вектор шуканих значень амплітуд для заданого інтервалу модуляції.

Розмірність матриці  $A$  визначається кількістю відліків  $N$ , які приймаються до уваги при аналізі сигналу на одному інтервалі модуляції, та числом квадратур гармонік  $(2 \cdot n_{f_{\max}})$ , що враховуються. В залежності від співвідношення вертикальних та горизонтальних розмірів матриці, система (1) може бути недовизначеною  $(N < 2 \cdot n_{f_{\max}})$ , визначеною  $(N = 2 \cdot n_{f_{\max}})$  або перевизначеною  $(N > 2 \cdot n_{f_{\max}})$  [3].

Найбільш вигідним з точки зору максимального врахування інформації про сигнал є випадок рішення перевизначеної СЛАР  $(N > 2 \cdot n_{f_{\max}})$ . Для формування перевизначеної СЛАР використовуються додаткові вимірювання сигналу з вибірки  $P$ , яка містить більшу кількість рівнянь при тій же самій кількості невідомих. Ступінь перевизначення системи характеризується коефіцієнтом  $\mu = W/2$  і описує асиметрію розмірів матриці  $W \times 2$ .



Тут  $W = \left\lfloor \frac{Fd}{V} \right\rfloor$ , де  $Fd$  - частота дискретизації сигналу;  $V$  - швидкість модуляції; знак  $\lfloor \cdot \rfloor$  - означає округлення до найближчого меншого цілого числа; число 2 означає кількість використовуваних квадратурних компонент, за допомогою яких задається сигнал, а, отже, кількість шуканих невідомих. Матриця  $A_2$  та вектор  $B_2$  формуються, використовуючи максимальну кількість вимірювань на інтервалі модуляції тривалістю  $T_p$ , яке визначається величиною  $\text{Num} \approx T_p/t_d$ :

$$A_2 = \|a_{i,j}\|, \quad i = 0, \dots, (\text{Num} - 1), \quad j = 0 \dots (2 \cdot n_{f \max} - 1);$$

$$a_{i,j} = \sin[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad 0 \leq j \leq n_{f \max} - 1; \quad (2)$$

$$a_{i,j} = \cos[2\pi(f_0 + q \cdot \Delta f) \cdot t_i], \quad n_{f \max} \leq j \leq 2 \cdot n_{f \max} - 1;$$

$$B_2 = \{b_0, \dots, b_{(\text{Num}-1)}\}, \quad b_v = q_v, \quad v = 0, \dots, (\text{Num} - 1). \quad (3)$$

СЛАУ має вигляд:

$$A_2 \cdot X_2 = B_2 \quad (4)$$

Система (4) має безліч рішень. На практиці найбільш часто використовують критерій найменших квадратів, що приводить до оцінки виду:

$$X_2^* = (A_2^T \cdot A_2)^{-1} A_2^T \cdot B_2. \quad (5)$$

Рішення системи (5) є наближеним, але результат виходить більш точним. Завадостійкість рішення досягається шляхом усереднення дії перешкод при числі вимірювань сигналу, що перевищує мінімально необхідну [4].

Розглянутий метод алгебраїчної обробки складних сигнальних конструкцій дозволяє провести демодуляцію сигналу шляхом вирішення СЛАР без використання методу ШПФ. При демодуляції сигналу даним методом бажано, щоб СЛАР була перевизначеною, так як саме перевизначена СЛАР дозволяє максимально враховувати інформацію про сигнал і дає єдине рішення системи. За рахунок перевизначення СЛАР, шляхом усереднення дії перешкод при числі вимірювань сигналу, досягається стійкість даного рішення. Застосування даного методу при демодуляції сигналів дозволить обчислювати параметри спектра сигналів тільки потрібної номенклатури частот.

#### Список використаних джерел

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер; пер. с англ. под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
2. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Степанов В.В. Компьютерный анализ сигналов систем радиосвязи / В.В. Степанов, А.А. Матвеев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 207 с.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд; пер. с англ. Ю.Н. Александрова. – М.: МИИР, 1978. – 834 с.